

## Деформация обсадных колонн в результате проявления техногенных деформационных процессов при разработке нефтегазовых месторождений

### Часть 2. Особенности развития осевых нагрузок на обсадные колонны в наклонно-направленных скважинах

**М.К. Тупысев**

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва, Россия  
E-mail: m.tupysev@mail.ru

**Аннотация.** В работе показано развитие техногенных осевых нагрузок, действующих на колонну обсадных труб при сооружении наклонно-направленных скважин. Осевые нагрузки зависят от угла наклона траектории ствола скважины и от его длины в продуктивной залежи, а также от сроков ввода наклонно-направленного участка ствола от начала разработки месторождения.

**Ключевые слова:** деформация обсадных колонн, деформация горных пород, техногенные деформационные процессы, наклонно-направленные скважины, разработка нефтегазовых месторождений.

**Для цитирования:** Тупысев М.К. Деформация обсадных колонн в результате проявления техногенных деформационных процессов при разработке нефтегазовых месторождений. Часть 2. Особенности развития осевых нагрузок на обсадные колонны в наклонно-направленных скважинах // Актуальные проблемы нефти и газа. 2021. Вып. 3(34). С. 76–81. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-34.art6>

В первой части статьи [1] выполнен анализ работ по выявлению причин деформации обсадных колонн эксплуатационных скважин. Показано, что главной причиной нарушения их герметичности являются техногенные деформационные процессы, проявляющиеся в результате разработки (дренирования) нефтегазовых месторождений.

В данной работе, являющейся продолжением исследования вопросов деформации, рассматриваются особенности проявления таких процессов в наклонно-направленных скважинах.

Величина нормального напряжения ( $\sigma$ ), возникающего в колонне в результате

оседания земной поверхности, определяется согласно законам механики по формуле:

$$\sigma = \Delta h E / L, \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – величина оседания земной поверхности, м;

$E$  – модуль Юнга материала труб обсадной колонны, МПа;

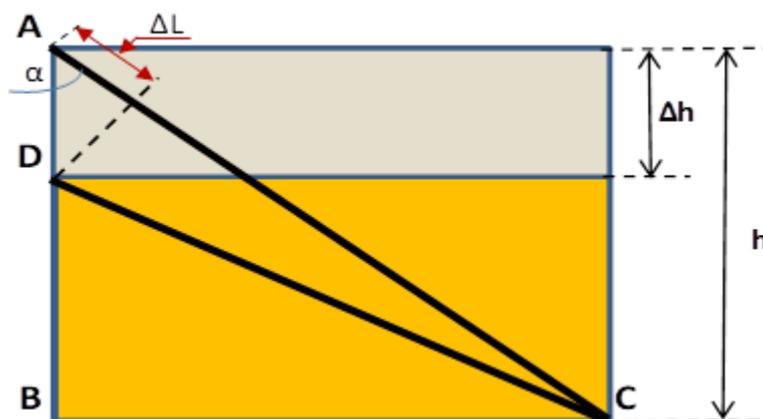
$L$  – длина колонны, м.

Формула (1) справедлива для вертикальных скважин, когда за длину колонны следует принимать ее участок в интервале деформируемых пластов дренируемой залежи, т.е. толщину залежи.

При этом мы допускаем, что выше кровли залежи колонна надежно зацементирована, а забой скважины находится на глубине дренируемой залежи.

Рассмотрим изменение нормального напряжения в колонне при техногенных деформациях в наклонно-направленных скважинах. Схема такого варианта

конструкции скважины представлена на рис. 1. При деформации горных пород залежи толщиной  $h$  на величину  $\Delta h$  длина скважины в этом интервале изменяется от величины  $AC$  до  $DC$ , угол отклонения скважины от вертикали составляет величину  $\alpha$ , а удаление забоя –  $BC$ .



**Рис. 1.** Схема изменения длины наклонно-направленной скважины в интервале залежи при техногенной деформации ее пластов

С учетом того, что, как правило, удаление от забоя (BC) значительно больше толщины залежи ( $h$ ), изменение (уменьшение) длины скважины (в соответствии с принятой схемой, см. рис. 1) можно определять по формуле:

$$\Delta L = \Delta h \cos \alpha . \tag{2}$$

Формула для определения нормального напряжения в колонне из-за техногенных деформационных процессов в дренируемой залежи (1) для наклонных скважин принимает вид:

$$\sigma = \Delta h \cos \alpha E/L . \tag{3}$$

При значении угла  $\alpha = 0^\circ$  (вариант вертикальной скважины) уменьшение длины

ствола скважины ( $\Delta L$ ) равно величине деформации горных пород залежи ( $\Delta h$ ), для горизонтального участка ствола скважины ( $\alpha = 90^\circ$ ) при деформационных процессах уменьшения его длины не происходит.

Для конструкций скважин с наклонно-направленными и горизонтальными стволами можно рассматривать радиальные сжимающие нагрузки, возникающие в результате деформации окружающих горных пород продуктивной залежи. Однако из-за относительно малых размеров диаметра ствола скважины (это диаметр применяемого долота), а также имеющегося зазора между стволом скважины и спускаемой колонной обсадных труб уменьшение диаметра ствола скважины и дополнительно возникающие нагрузки могут быть незначительны.

В промысловой практике сооружение наклонно-направленных скважин является:

- 1) вынужденной мерой;
- 2) целенаправленным действием.

В первом случае такие скважины сооружают при освоении нефтегазовых месторождений:

– на шельфе, когда для более равномерного дренирования осваиваемого месторождения основное количество эксплуатационных скважин бурят с платформы в наклонно-направленном исполнении;

– при использовании кустового метода расположения скважин по площади месторождения (для экономии затрат на сооружение подъездных дорог, системы сбора продукции скважин).

Целенаправленно наклонно-направленные скважины сооружают в следующих случаях:

– при освоении месторождений с малыми толщинами продуктивных пластов и(или) с низкими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС) коллекторов с целью увеличения площади фильтрации пластового флюида к забою скважин;

– для вовлечения в разработку не задействованных ранее участков продуктивной залежи, (чаще при разработке нефтяных месторождений) [4];

– для восстановления продуктивности эксплуатационных скважин, например, обводнившихся газовых, в результате поднятия подошвенных вод (образования водяных «конусов») [5].

Два последних случая сооружения наклонно-направленных скважин реализуются чаще на завершающей стадии

разработки месторождений. Такой вариант конструкции скважин выполняется как зарезка боковых стволов из вертикальных эксплуатационных скважин. Боковые стволы сооружаются на месторождениях с более низкими пластовыми давлениями по сравнению с первоначальными, на стадии замедления деформационных процессов. Поэтому дальнейшая эксплуатация скважин происходит с незначительным ростом осевых нагрузок на обсадные колонны в наклонно-направленном интервале скважин по мере дальнейшего снижения пластового давления во вскрываемой части продуктивной залежи.

Таким образом, для обеспечения надежной работы проектируемой скважины необходима предварительная оценка возможных дополнительных нагрузок на обсадные колонны, возникающих в процессе разработки нефтегазовых залежей из-за проявления техногенных деформационных процессов.

Такая оценка проводится в следующей последовательности:

1. На основании геологической информации о толщинах, составах, деформационных свойствах горных пород продуктивной залежи (месторождения), а также изменения пластового давления в процессе разработки месторождения (по проекту) определяются ожидаемые величины деформации пластов залежи в месте размещения проектируемой скважины на площади месторождения (в работе [5] описан порядок определения деформационных свойств горных пород дренируемых залежей и величин оседания земной поверхности в результате деформационных процессов).

2. С учетом определенных величин деформации пластов и проектных значений угла отклонения траектории ствола скважины от вертикали в залежи определяются дополнительные нормальные осевые нагрузки, действующие на обсадные колонны, по формулам (2) и (3).

3. В случае получения критических значений нагрузок принимаются решения по коррекции конструкции проектируемых скважин (изменение угла отклонения, длины участка скважины в продуктивной залежи, оборудование обсадных колонн компенсационными устройствами осевых нагрузок и пр.).

В случае сооружения вертикальных скважин при разработке залежей, продуктивные пласты которой залегают под значительным углом к горизонтали, деформация их в процессе разработки может приводить к возникновению сминающих нагрузок, действующих на колонну обсадных труб в области кровли залежи.

При рассмотрении такой задачи предполагается, что деформация пластов продуктивной залежи происходит в направлении нормали к плоскости залегания пластов. В работе [6] для исключения таких сминающих нагрузок предлагается вскрывать залежь по нормали к плоскости залегания продуктивных пластов.

Для обеспечения надежной работы сооружаемых скважин (с точки зрения сохранения их целостности) необходимо до сооружения скважин оценивать ожидаемые

деформации горных пород продуктивных залежей, а также нагрузки, возникающие в результате этих деформаций и действующие на колонны обсадных труб как в области кровли, так и в интервале вскрытия горных пород самих залежей. Это позволяет корректировать углы вскрытия продуктивных залежей, а также траекторию проводки ствола скважин по залежам.

При рассмотрении техногенных нагрузок, действующих на обсадные колонны скважин, следует иметь в виду то, что таким нагрузкам подвержены любые скважины, вскрывающие дренируемые залежи, т.е. кроме эксплуатационных – наблюдательные, законсервированные, ликвидированные.

#### **Выводы**

1. Величина техногенных нагрузок, действующих на обсадные колонны скважин, зависит как от угла наклона ствола скважины при вскрытии продуктивных залежей, так и от длины участка ствола в залежи. Кроме того, данная величина зависит от стадии разработки месторождения, на которой сооружаются наклонно-направленные скважины (или их участки),

2. По мере удаления сроков сооружения таких скважин от начала ввода месторождения в разработку величины рассматриваемых нагрузок снижаются.

3. По мере увеличения угла наклона ствола скважины и приближения ее траектории к горизонтальному положению осевые техногенные нагрузки стремятся к нулю.

*Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Обоснование инновационных экологически чистых технологий разработки месторождений УВ в сложных горно-геологических условиях на основе 3D-компьютерного моделирования, лабораторных экспериментов и опытно-промысловых исследований», № АААА-А19-119022090096-5).*

### **Литература**

1. *Тупысев М.К.* Деформация обсадных колонн в результате проявления техногенных деформационных процессов при разработке нефтегазовых месторождений. Часть 1. Выявление причин деформации обсадных колонн // *Актуальные проблемы нефти и газа.* 2021. Вып. 2(33). С. 28–37. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-33.art3>
2. *Черский Н.В., Виноградов В.Н., Жиденко Г.Г., Савченко В.В., Тупысев М.К.* Влияние осадки горных пород на подземные сооружения при извлечении флюидов из продуктивных пластов // *Доклады АН СССР.* 1988. Т. 302, № 2. С. 413–416.
3. *Халимов М.А., Легаев Я.В.* Бурение вторых стволов скважин с горизонтальным окончанием – как метод повышения нефтеотдачи пластов на Курраганском месторождении Западной Сибири // *Интервал. Передовые нефтегазовые технологии.* 2006. № 6(89). С. 67–68.
4. *Тупысев М.К.* Диагностика наличия и добыча остаточных запасов газа при обводнении газовых скважин в многопластовых залежах // *Актуальные проблемы нефти и газа.* 2020. Вып. 3(30). С. 44–50. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-30.art5>
5. *Тупысев М.К.* Особенности контроля за разработкой газовых месторождений на поздней стадии // *Георесурсы, геоэнергетика, геополитика.* 2016. Вып. 1(13). С. 14. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2016-13.art14>
6. *Тупысев М.К., Жиденко Г.Г., Савченко В.В.* А.с. SU 1469074 А1. Способ проводки эксплуатационных скважин. № 4122532; Заявл. 19.09.1986; Оpubл. 30.03.1989 // *Изобретения. Полезные модели.* 1989. Бюл. № 9. <http://www1.fips.ru>

## Deformation of casing strings as a result of technogenic deformation processes during oil and gas field development Part 2. Features of the development of axial loads on casing strings in directional wells

**M.K. Tupysev**

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
E-mail: [m.tupysev@mail.ru](mailto:m.tupysev@mail.ru)

**Abstract.** The paper shows the development of technogenic axial loads acting on the column of casing pipes during the construction of directional wells. Axial loads depend on the angle of inclination of the wellbore trajectory and its length in the productive deposit, as well as from the timing of the input of the inclined-directed section of the trunk from the beginning of the development of the field.

**Keywords:** deformation of casing strings, rock deformation, technogenic deformation processes, directional wells, oil and gas field development.

**Citation:** *Tupysev M.K.* Deformation of casing strings as a result of technogenic deformation processes during oil and gas field development. Part 2. Features of the development of axial loads on casing strings in directional wells // Actual Problems of Oil and Gas. 2021. Iss. 3(34). P. 76–81. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-34.art6> (In Russ.).

### References

1. *Tupysev M.K.* Deformation of casing strings as a result of technogenic deformation processes during oil and gas field development. Part 1. Identification of the causes of deformation of casing strings // Actual Problems of Oil and Gas. 2021. Iss. 2(33). P. 28–37. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-33.art3> (In Russ.).
2. *Chersky N.V., Vinogradov V.N., Zhidenko G.G., Savchenko V.V., Tupysev M.K.* Influence of rock sedimentation on underground structures during the extraction of fluids from productive strata // Doklady AN SSSR. 1988. Vol. 302, No. 2. P. 413–416. (In Russ.).
3. *Khalimov M.A., Legaev Ya.V.* Drilling of the second barrels of wells with horizontal end – as a method of increasing the oil recovery of reservoirs at the Kurragan field of Western Siberia // Interval. Advanced Oil and Gas Technologies. 2006. No. 6(89). P. 67–68. (In Russ.).
4. *Tupysev M.K.* Diagnostics of the presence and production of residual gas reserves during gas well flooding in multilayer deposits // Actual Problems of Oil and Gas. 2020. Iss. 3(30). P. 44–50. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-30.art5> (In Russ.).
5. *Tupysev M.K.* Aspects of gas field development control on late stages // Georesources, Geoenergetics, Geopolitics. 2016. Iss. 1(13). P. 14. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2016-13.art14> (In Russ.).
6. *Tupysev M.K., Zhidenko G.G., Savchenko V.V.* A.c. SU 1469074 A1. Method for drilling of production wells. No. 4122532; Appl. 19.09.1986; Publ. 30.03.1989 // Inventions. Useful models. 1989. Bull. No. 9. <http://www1.fips.ru> (In Russ.).